

ارزیابی کارایی مدل رگرسیون لجستیک در تهیه نقشه حساسیت به وقوع سیل

- ❖ **خهبات خسروی؛** دانشجوی دکتری آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران.
- ❖ **ادریس معروفی نیا؛** دانشگاه آزاد اسلامی، واحد مهاباد، باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، مهاباد، ایران.
- ❖ **ابراهیم نوحانی؛** دانشگاه آزاد اسلامی، واحد دزفول، باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، دزفول، ایران.
- ❖ **کامران چپی*؛** استادیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران

چکیده

در راستای جلوگیری از هرگونه خسارات ناشی از سیل، نقشه حساسیت به وقوع سیل برای حوضه آبخیز هراز در استان مازندران توسط روش رگرسیون لجستیک تهیه گردید. ابتدا ۲۱۱ نقطه سیل گیر و ۲۱۱ نقطه غیر سیل گیر شناسایی شدند. در دومین مرحله ۱۰ فاکتور مؤثر در وقوع سیل که شامل شیب، انحنای زمین، طبقات ارتفاعی، فاصله از رودخانه، شاخص رطوبت، توپوگرافی، شاخص توان آبراهه، بارندگی، کاربری اراضی و NDVI می باشد، مشخص گردید. نقشه های رقومی کلیه پارامترها با استفاده از نرم افزارهای ArcGIS 10.1، ENVI 5.1 و SAGAGIS 2 با فرمت رستری تهیه شدند. موقعیت های سیل گیر به صورت تصادفی به دو گروه ۷۰ درصد (۱۵۱) و ۳۰ درصد (۶۰) به ترتیب برای مدل سازی برای اعتبارسنجی تقسیم شدند. وزن لایه های مورد استفاده با روش Enter توسط نرم افزار SPSS.18 مشخص گردید و در نهایت وزن های تعیین شده به همراه لایه فاکتورهای مؤثر در وقوع سیل به محیط GIS 10.1 وارد گردید و نقشه نهایی تهیه گردید. نقشه حساسیت به وقوع سیل تهیه شده به ۵ کلاس طبقه بندی شد. برای اطمینان از صحت نقشه تهیه شده، از منحنی ROC و سطح زیر منحنی آن استفاده شد. نتایج نشان داد که برای میزان پیش بینی، سطح زیر منحنی برابر با ۷۸/۳ درصد می باشد، پس روش رگرسیون لجستیک دارای صحت قابل قبول جهت تهیه نقشه حساسیت به وقوع سیل می باشد. طبق مدل رگرسیون لجستیک، مهمترین فاکتورهای مؤثر در سیل به ترتیب شامل شاخص رطوبت توپوگرافی، انحنای زمین و شیب می باشد. نتایج این تحقیق می تواند برای محققان مختلف، شرکت سهامی آب منطقه ای مازندران، وزارت نیرو، جهاد کشاورزی و ادارات منابع طبیعی، جهت کاهش خسارات در مواقع سیلابی مفید و ضروری می باشد.

واژگان کلیدی: حساسیت به سیل، رگرسیون لجستیک، هراز، GIS، ROC

۱. مقدمه

جغرافیایی (GIS) را در تهیه نقشه حساسیت به وقوع سیل افزایش داده است. بنابراین GIS یک ابزار مفید برای بررسی وقایع چند بعدی مانند سیلاب می‌باشد [۲۹]. دامنه وسیعی از تکنیک‌های مدل‌سازی در ارزیابی بلایای طبیعی پیشنهاد و مورد استفاده واقع شده است. محققان مختلفی ارزیابی نقشه‌های سیلاب را توسط GIS انجام داده‌اند و اطلاعات مفیدی [۳، ۱۹] را در ارتباط با بعضی از روش‌های موجود جمع‌آوری نموده‌اند. روش‌های مختلف تهیه نقشه حساسیت به وقوع سیل مانند مدل‌های آماری و احتمالاتی در تحقیق‌های مختلف و موارد مطالعاتی مختلفی انجام شده است [۱۱، ۱۴]. در سال‌های اخیر تکنیک‌های پیشرفته‌تری در ارزیابی نقشه‌های حساسیت سیلاب توسط روش‌های محاسبات نرم و داده‌کاوی اجرا شده است

پهنه‌بندی مناطق حساس به وقوع سیل در مالزی توسط تکنیک SVM با ۴ تابع Polynomial, Linear, Radial Basis Function و Sigmoid مورد بررسی قرار گرفت [۲۸]. آن‌ها بیان کردند که مساحت سطح زیر منحنی (AUC) به ترتیب برای توابع فوق برابر با ۰.۸۴/۶۳، ۰.۸۳/۹۲، ۰.۸۴/۹۷ و ۰.۸۱/۸۸ است. آنها توسط شاخص Cohen's kappa بیان کردند که کل فاکتورهای در نظر گرفته شده به جز رواناب سطحی (که باعث کاهش صحت نتایج نهایی می‌شود) دارای تأثیر مثبت در سیلاب می‌باشند. طبق نتایج آنها شیب و طبقات ارتفاعی در همه انواع توابع از مؤثرترین فاکتورها بودند.

تهرانی و همکاران در سال ۲۰۱۴ میلادی به بررسی کارایی ترکیب مدل SVM با WoE جهت تهیه نقشه حساسیت به وقوع سیل پرداخته‌اند [۲۶]. آنها بیان کردند که در ترکیب این مدل‌ها با یکدیگر نتایج از صحت بالاتری برخوردار می‌باشد. در تابع RBF_SVM-WOE سطح زیرمنحنی برای نرخ موفقیت و نرخ پیش‌بینی به ترتیب برابر با ۰.۹۶/۴۸ و ۰.۹۵/۶۷ می‌باشد.

تحقیقی تحت عنوان نقشه حساسیت به وقوع سیل توسط ترکیب مدل‌های آماری دو متغیره و چند متغیره

هرساله بلایای طبیعی مانند زمین لغزش، زلزله، سیلاب و غیره باعث تلفات فراوان جانی و مالی در سراسر جهان می‌گردد [۳۰] که سیلاب مخرب‌ترین آن‌ها در نظر گرفته شده است [۳۳]. سیل، حرکت آب به صورتی که هرچه را که در مسیر خود دارد به همراه ببرد و طغیان که در پی سیل اتفاق می‌افتد، به سکون این آب‌ها و پیوستن آن به آب رودخانه‌ها، دریاچه‌ها و ... و در نتیجه بالا آمدن سطح آبهای جاری و زیر آب رفتن مناطق مسکونی و کشاورزی و غیره گفته می‌شود. سیل یکی از بلایای طبیعی است که خسارت ناشی از آن قابل شمارش نیست [۷]. سیل‌ها در فواصل مختلف با مدت‌های مختلف رخ می‌دهند [۲۸]. سیل باعث خسارت جدی به محیط زیست، حمل و نقل، اقتصاد، کشاورزی و زندگی مردم می‌شود [۱۸، ۳۴]. خسارات ناشی از سیل شامل خسارات محسوس (Tangible Losses) و خسارات نامحسوس (Intangible losses) می‌باشد که خسارات محسوس به دو صورت مستقیم (Direct) و غیر مستقیم (Indirect) طبقه‌بندی می‌شوند [۱۷]. مناطق شمالی کشور نیز در اثر تغییر کاربری اراضی، تغییر اقلیم و غیره هر ساله شاهد سیل‌های شدیدی بوده که باعث خسارات جانی و مالی فراوان به منطقه می‌گردد. بنابراین شناسایی مناطق حساس به وقوع سیل جهت اندیشیدن تمهیدات لازم، برای کاهش خسارت ضروری می‌باشد [۲]. تهیه نقشه حساسیت به وقوع سیل به عنوان مرحله ضروری برای جلوگیری و مدیریت سیل‌های آینده شناخته شده است [۱۰]، هرچند که وقوع سیل دارای شرایط پیچیده‌ای می‌باشد که وقوع آن را برای یک پیش‌بینی قابل اطمینان، مشکل می‌سازد [۲۹].

مسئله تهیه نقشه حساسیت به وقوع سیل توسط محققان مختلفی بررسی شده است [۶، ۱۶، ۲۳، ۲۵، ۲۷]. دسترسی سریع به ماهواره بر پایه داده‌های سنجش از دور و بهبود روش‌های تجاری، استفاده از سیستم اطلاعات

منطقه مورد مطالعه به وقوع سیل استفاده گردد، که این موضوع اصلی ترین هدف از این تحقیق می باشد.

۲. روش شناسی

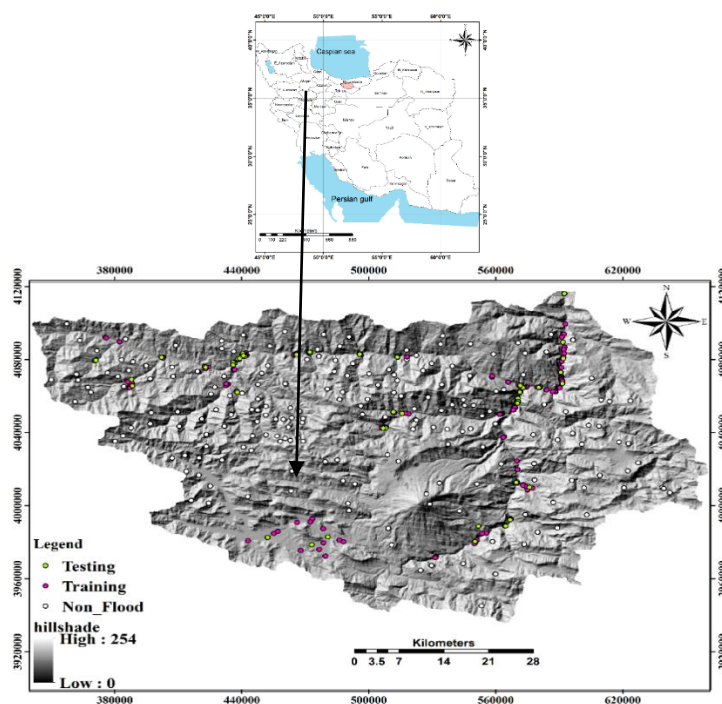
۱.۲. منطقه مورد مطالعه

حوضه آبخیز هراز بین $51^{\circ} 43'$ تا $52^{\circ} 36'$ طول شرقی و $35^{\circ} 45'$ تا $36^{\circ} 22'$ عرض شمالی واقع شده است. منطقه مورد مطالعه در جنوب شهرستان آمل و استان مازندران (ایران) واقع شده است. وسعت حوضه آبخیز 4014 کیلومتر مربع می باشد. حداقل ارتفاع حوضه 300 متر و حداکثر ارتفاع آن 5600 متر می باشد. علت اصلی وقوع سیل در این مناطق بارش باران با شدت زیاد در مدت زمان کوتاه (ناشی از تغییر اقلیم)، تغییر کاربری اراضی مرتعی و به خصوص جنگلی به ویلاسازی و همچنین عدم اقدامات اساسی جهت جلوگیری از سیل می باشد. در شکل (۱) نقاط سیلابی و غیر سیلابی برای سیلاب سال 1391 نشان داده شده است.

(نسبت فراوانی و رگرسیون لجستیک) در کشور کره جنوبی صورت گرفت [۲۷]. نتایج نرخ موفقیت و نرخ پیش بینی به ترتیب برابر با $92\%/7$ و $82\%/3$ می باشد. آنها بیان نمودن که این روش کارآیی لازم برای تهیه نقشه های حساسیت به وقوع سیل را دارا می باشد.

یوسف و همکاران (۲۰۱۶) به پهنه بندی نقشه حساسیت به وقوع سیل شهر Jaddah در عربستان سعودی با روش های LR و FR و ترکیب آنها پرداختند. آنها بیان نمودند که روش ترکیبی، با سطح زیر منحنی $91\%/3$ از روش FR با سطح زیر منحنی $89\%/6$ دارای صحت و اعتبار بیشتری می باشد [۳۴].

همان طور که بیان گردید، هر ساله سیل های فراوانی در ایران و به خصوص شهرهای شمالی کشور رخ می دهد که باعث خسارات مالی و حتی تلفات جانی شده است، که وجود این خسارات ناشی از نبود اطلاعات از مناطق سیل گیر و همچنین عدم اقدامات اساسی جهت جلوگیری از سیل می باشد. در این تحقیق سعی بر آن شده است که از روش رگرسیون لجستیک برای تهیه نقشه حساسیت



شکل ۱. موقعیت حوضه آبخیز هراز در استان مازندران و ایران.

۲.۲. روش تحقیق

۱.۲.۲. تهیه نقشه سیلاب‌های گذشته

صحت وقایع سیلابی گذشته تأثیر بسیار بالایی بر روی صحت نقشه حساسیت به وقوع سیل دارد [۱۷]. در این تحقیق نقشه فهرست سیلاب بر اساس سیلاب تاریخ‌های ۱۳۸۳، ۱۳۸۷ و ۱۳۹۱ توسط بررسی‌های صحرایی تهیه شد. برای این تحقیق ۲۱۱ نقطه سیلابی و ۲۱۱ نقطه غیرسیلابی تهیه شد. مناطق غیر سیلابی از روی نقشه توپوگرافی و نرم افزار Google Earth با توجه به مناطقی مانند تپه‌ها و کوه‌ها که سیلاب قادر به پیشروی در آنجا نیست، انتخاب گردید [۲۶].

۲.۲.۲. پارامترهای مؤثر در وقوع سیل

برای تهیه نقشه حساسیت به وقوع سیل و یا به طور کلی تولید مدلی برای ارزیابی در معرض آسیب بلایای طبیعی، مجموعه‌ای از فاکتورهای مؤثر باید تعریف گردد [۹، ۳۲]. مجموعه فاکتورهای مؤثر بر سیلاب توسط ۱۰ فاکتور شامل زاویه شیب، انحنای زمین (Curvature)، طبقات ارتفاعی (Altitude)، فاصله از رودخانه، Stream Power، Topographic Wetness Index (TWI) و Index (SPI)، بارندگی، زمین‌شناسی، کاربری اراضی و Normalized difference vegetation index (NDVI) ساخته شد [۲۹]. این داده‌ها از منابع مختلف جمع‌آوری شد و سپس به اندازه پیکسل ۲۰ متر براساس DEM منطقه تبدیل شدند.

شیب زمین به دلیل تأثیر مستقیم بر رواناب سطحی و فرصت نفوذ، یکی از عوامل مهم در وقوع سیل حوضه‌های آبخیز به‌شمار می‌رود. به منظور تهیه نقشه شیب از مدل رقومی ارتفاع (با قدرت تفکیک ۲۰ متر) و نرم افزار ArcGIS 10.1 استفاده شد. نقشه بدست‌آمده به ۵ کلاس تقسیم‌بندی گردید (شکل ۲). فاکتور مؤثر و مهم دیگر که تأثیر

بالایی بر وقوع سیل دارد، انحنای زمین می‌باشد. این فاکتور به سه کلاس محدب، مسطح و مقعر تقسیم‌بندی گردید که در شکل (۲) نشان داده شده است. سومین فاکتور مؤثر که برای تحقیق حاضر در نظر گرفته شده است، طبقات ارتفاعی است. این فاکتور تأثیر بالایی بر وقوع سیل دارد، زیرا که طبقات ارتفاعی پایین پتانسیل بالایی بر وقوع سیل دارند. این فاکتور نیز از DEM منطقه تهیه و به ۹ کلاس تقسیم‌بندی گردید که در شکل (۲) نشان داده شده است. فاصله از رودخانه یکی از مهم‌ترین عوامل در سیل‌گرفتگی اراضی مجاور است. نقشه فاصله از رودخانه‌های مجاور براساس لایه رقومی شبکه جریان حوضه آبخیز هراز در استان مازندران، در نرم افزار ArcGIS 10.1 تهیه گردید. نقشه حاصل به شش کلاس گروه‌بندی شد (شکل ۲). TWI یکی از شاخص‌های تأثیرگذار بر وقوع و پتانسیل سیل در حوضه‌های آبخیز به‌شمار می‌رود. شاخص رطوبت توپوگرافی با توجه به رابطه زیر تعریف می‌گردد [۲۲، ۲۵]، برای تهیه این نقشه از نرم‌افزار SAGA GIS 2 استفاده شد. نقشه حاصل به ده کلاس تقسیم گردید.

$$TWI = \ln \left(\frac{A_s}{\tan \beta} \right) \quad (1)$$

که در آن A_s سطح ویژه حوضه آبخیز و β شیب زمین (بر حسب درجه) می‌باشند. SPI یکی از شاخص‌های پارامترهای مهم در پتانسیل سیل‌خیزی حوضه‌های آبخیز به‌شمار می‌رود. شاخص توان آبراهه با توجه به رابطه زیر تعریف می‌گردد [۲۱، ۲۴]، برای تهیه این نقشه نیز از نرم‌افزار SAGA GIS 2 استفاده شد. نقشه حاصل به ده کلاس تقسیم گردید.

$$SPI = A_s \tan \beta \quad (2)$$

برای تشکیل لایه بارندگی، از داده‌های ۲۰ ساله

۳.۲.۲. مدل رگرسیون لجستیک

رگرسیون لجستیک یکی از آنالیزهای آماری چند متغیره است که چندین پارامتر فیزیکی که ممکن است بر روی احتمال رخداد سیل تأثیر بگذارند را در نظر می‌گیرد [۲۴]. بدین ترتیب که ۷۰٪ نقاط سیلابی آموزش به عنوان متغیر وابسته و ده فاکتور مؤثر بر سیل به عنوان متغیرهای مستقل به مدل وارد شدند [۸]. ضرایب مدل رگرسیون لجستیک توسط روش maximum likelihood برآورد گردید، که این وزن‌ها برای نقشه‌نمایی در GIS مورد استفاده واقع می‌گردد. از نرم افزار SPSS 18 برای اجرای مدل رگرسیون لجستیک توسط روش Enter استفاده شد. در روش Enter کلیه فاکتورها بدون حذف وارد مدل می‌شوند. از مزیت‌های رگرسیون لجستیک این است که داده‌ها نیاز به توزیع نرمال ندارند و فاکتورهای مؤثر می‌توانند به صورت پیوسته یا گسسته باشند [۱۳]. پس هدف اصلی از رگرسیون لجستیک تعیین مدل مناسبی برای تعریف رابطه بین متغیر وابسته و فاکتورهای مؤثر در سیل برای تولید ضرایب، برای هر متغیر می‌باشد [۳۱]. برطبق گفته های Lee [۱۳] رگرسیون لجستیک برای پیش‌بینی وجود یا عدم وجود عوارض به صورت ۰ و ۱، متکی بر مقادیر متغیرهای پیش‌بینی کننده است. به طور کمی، رابطه بین رخداد و وابستگی آن بر روی چندین متغیر به صورت زیر بیان می‌گردد [۲۰، ۲۴]:

$$P(\text{event}) = \frac{e^z}{(1+e^z)} \quad (4)$$

که در آن $P(\text{event})$ احتمال رخداد سیل می‌باشد. به تناسب این که مقدار Z از $-\infty$ تا $+\infty$ تغییر می‌کند، احتمال رخداد از ۰ تا ۱ تغییر می‌کند. Z تابع ترکیب خطی از فاکتورهای مؤثر که نشان‌دهنده رابطه خطی می‌باشد و b_0 عرض از مبدأ مدل می‌باشد.

$$Z = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + \dots + b_nX_n \quad (5)$$

(۱۳۷۰-۱۳۹۰) ۱۷ ایستگاه باران‌سنجی داخل و خارج محدوده مطالعاتی استفاده شد. از روش‌های درون‌یابی شامل کریجینگ (ساده و معمولی)، عکس فاصله با توان‌های ۱ تا ۵، تابع شعاعی با تابع کرنل‌های Completely Regularized spline و Spline with tension برای درون‌یابی نقشه بارندگی استفاده شد، که از روش کریجینگ ساده به دلیل داشتن کمترین مقدار RMSE و MAE جهت تهیه نقشه بارندگی حوضه آبخیز هراز استفاده شد. نقشه بارندگی منطقه پس از درون‌یابی به ۹ کلاس طبقه‌بندی شد (شکل ۲). سنگ‌شناسی به دلیل تأثیر مستقیم بر توان نفوذپذیری و رواناب سطحی، یکی از عوامل مهم در پدیده سیل حوضه‌های آبخیز است. سنگ‌شناسی منطقه به سه کلاس سنوزوئیک، مزوزوئیک و پالئوزوئیک تقسیم گردید (شکل ۲). تهیه نقشه کاربری اراضی و NDVI با استفاده از تصویر سنجنده LOI مربوط به ماهواره Landsat 8 (برگرفته از سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح) تهیه شد. نقشه کاربری اراضی با استفاده از الگوریتم شبکه عصبی و طبقه‌بندی نظارت شده در محیط نرم افزاری ENVI 5.1 به هفت کلاس مرتع، اراضی لخت و فاقد پوشش، جنگل، باغ، اراضی آبی، مسکونی و پهنه‌های آبی کلاس‌بندی شد (شکل ۲). نقشه NDVI نیز که نشان‌دهنده پوشش سطحی گیاهان و تراکم آنها در تصاویر می‌باشد، تهیه و در ۱۰ کلاس طبقه‌بندی شد (شکل ۲). این شاخص بین -۱ تا +۱ می‌باشد. مقادیر NDVI از طریق معادله زیر محاسبه شدند [۲۰]:

$$NDVI = (NIR - VIS) / (NIR + VIS) \quad (3)$$

که VIS و NIR به ترتیب اندازه‌گیری بازگشت طیف نور مرئی و مادون قرمز نزدیک می‌باشد.

۴.۲.۲. اعتبارسنجی نقشه‌های پیش‌بینی پتانسیل

سیل

مجموعه نقاط به طور تصادفی به دو گروه ۷۰٪ برای مدلسازی (۱۵۱ موقعیت) و ۳۰٪ برای اعتبارسنجی (۶۰ موقعیت) تقسیم شدند. در این مرحله از ۶۰ موقعیت سیلابی در محیط GIS جهت اعتبارسنجی نقشه نهایی توسط منحنی ROC استفاده شد.

۳. نتایج

در شکل (۲)، نقشه فاکتورهای موثر در وقوع سیل نشان داده شده است.

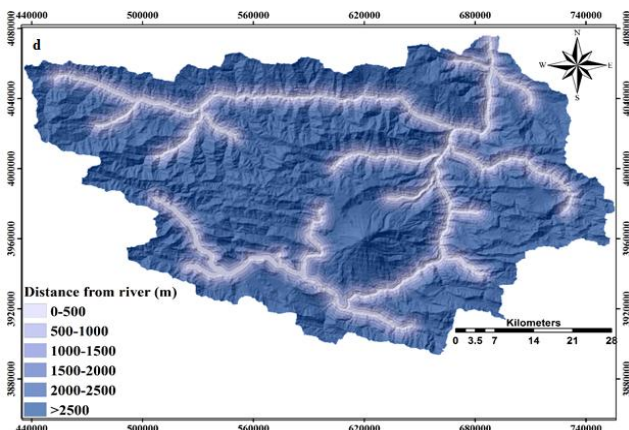
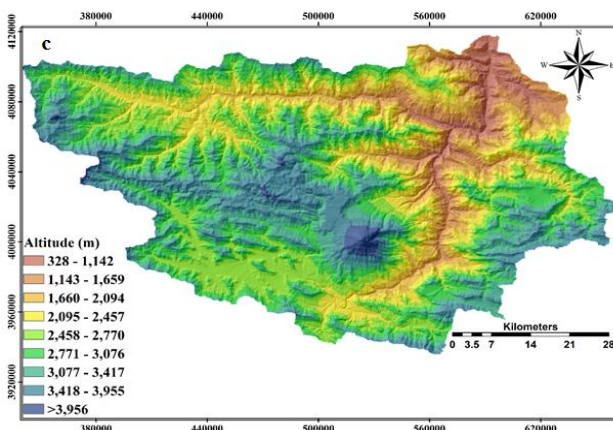
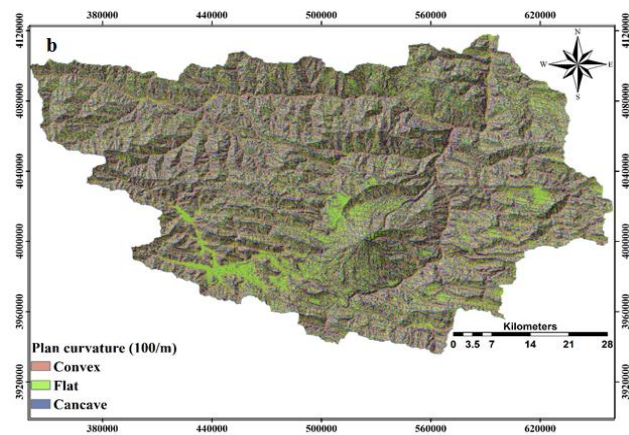
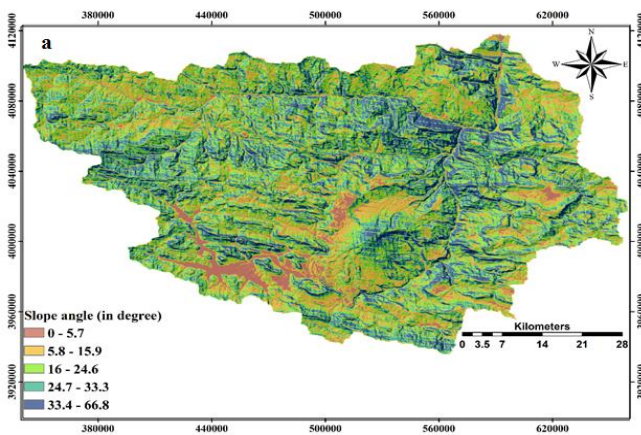
معادله عمومی رگرسیون لجستیک به صورت زیر

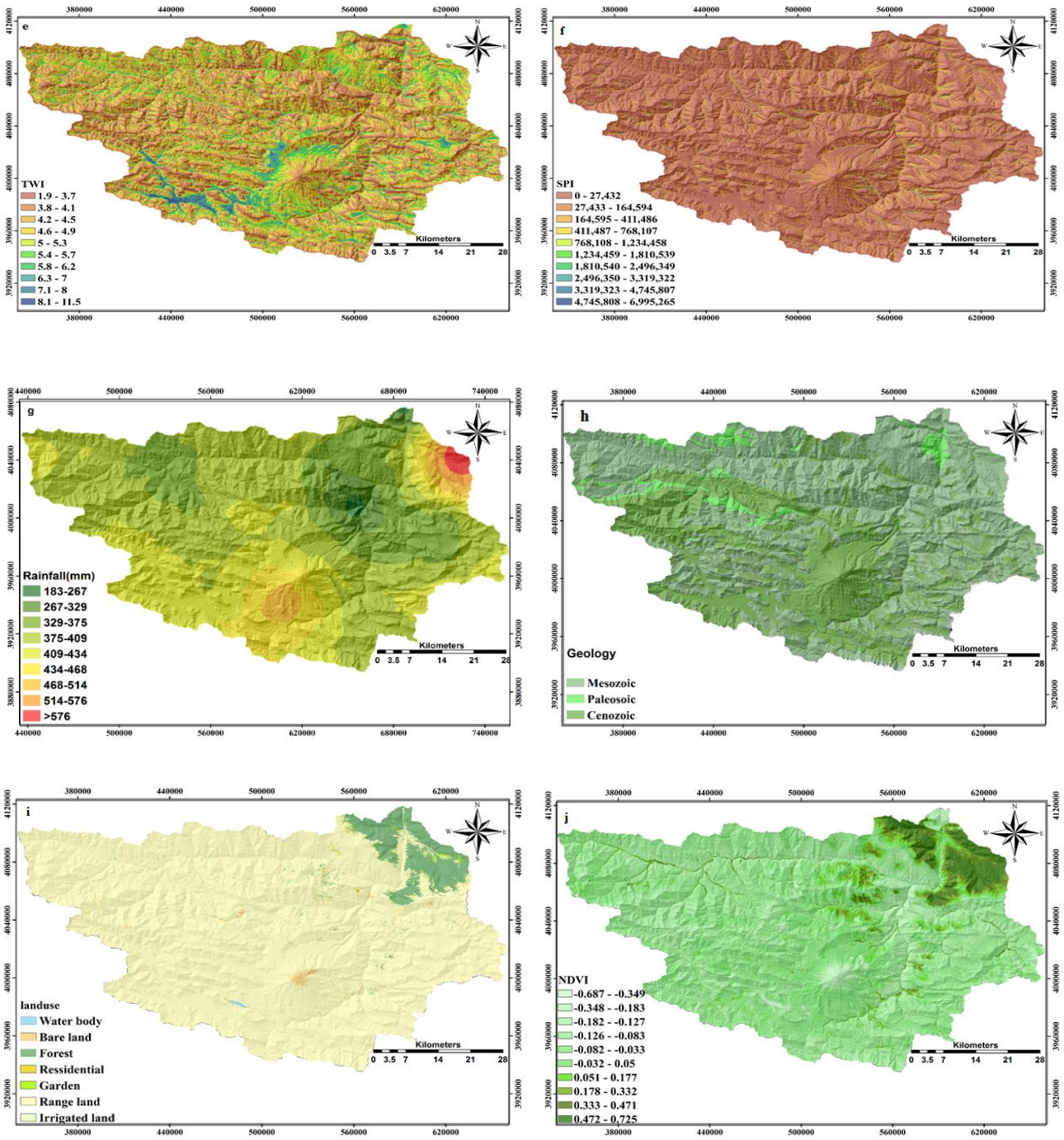
می‌باشد:

(۶)

$$Y = \log it(p) = \ln\left(\frac{p}{1-p}\right) = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + \dots + b_nX_n$$

که Y احتمال رخداد سیل، $b_n (i=0,1,\dots,n)$ ضرایب برآوردی از داده‌های نمونه، n تعداد متغیرهای مستقل و $X_n (i=0,1,\dots,n)$ متغیرهای مستقل می‌باشد. ضرایب مثبت دلالت بر همبستگی مثبت بین فاکتورهای مؤثر و متغیر وابسته دارد و ضرایب منفی نشان دهنده تأثیر عکس می‌باشد. به دلیل این که رابطه بین متغیرهای مستقل و احتمال وقوع به صورت غیرخطی می‌باشد، الگوریتم تکرارشونده برای برآورد پارامتر ضروری می‌باشد.





شکل ۲. نقشه فاکتورهای مؤثر بر وقوع سیل در حوزه آبخیز هراز، استان مازندران

۱.۳. توسعه مدل آماری و تعیین وزن پارامترهای

مؤثر در پتانسیل سیل

تجزیه و تحلیل‌های مقایسه‌ای بین موقعیت وقوع سیل‌های گذشته و پارامترهای محیطی مؤثر بر وقوع سیل انجام گرفت و براساس آن، وزن تأثیر هر پارامتر بدست آمد. نتایج رگرسیون لجستیک که نشان‌دهنده

رابطه بین رخداد سیلاب و فاکتورهای مؤثر در وقوع سیل می‌باشد، در جدول (۲) نشان داده شده است. با ورود کلیه متغیرهای مستقل و وابسته شامل ۱۵۱ موقعیت سیلابی با کد ۱ و ۶۰ موقعیت غیرسیلابی با کد ۰ به مدل آماری رگرسیون لجستیک و انتخاب روش Enter تجزیه و تحلیل داده‌ها صورت گرفت.

جدول ۱. ضرایب فاکتورهای مکانی در مدل رگرسیون لجستیک حوزه آبخیز هراز

95% C.I. for e ^B		e ^B	Sig.	df	Wald	S.E	B	فاکتور	روش
Upper	Lower								
۰/۹۹۴	۰/۷۲۷	۰/۸۵۰	۰/۰۴۲	۱	۰/۴۱۲۷	۰/۸	-۰/۱۶۲	شیب	
۳/۲۸۲	۰/۰۸۵	۰/۵۲۸	۰/۴۹۳	۱	۰/۴۶۹	۰/۹۳۲	-۰/۶۳۸	انحنای زمین	
۰/۹۹۹	۰/۹۹۷	۰/۹۹۸	۰/۰۰۱	۱	۱۰/۹۳	۰/۰۰۱	۰/۰۰۲	فاصله از رودخانه	
۰/۹۹۸	۰/۹۹۴	۰/۹۹۶	۰/۰۰	۱	۱۲/۳۳	۰/۰۰۱	-۰/۰۰۴	طبقات ارتفاعی	
۱/۵۶۹	۰/۳۰۹	۰/۶۹۶	۰/۳۸۲	۱	۰/۷۶۳	۰/۴۱۴	-۰/۳۶۲	کاربری اراضی	
۱/۰۱۹	۰/۹۷۵	۰/۹۹۷	۰/۷۹۸	۱	۰/۰۶۶	۰/۰۱۱	-۰/۰۰۳	بارندگی	Enter
۱	۱	۱	۰/۴۴۷	۱۱	۰/۵۷۸	۰/۰۰	۰/۰۰	SPI	
۱۸۶/۷۰۵	۴/۰۹۸	۲۷/۶۶۱	۰/۰۰۱	۱	۱۱/۶۱۳	۰/۹۷۴	۳/۳۲	TWI	
۱/۰۸۶	۰/۹۳۸	۱/۰۱	۰/۷۹۷	۱	۰/۰۶۶	۰/۰۳۷	۰/۱	زمین شناسی	
۳۷/۲۷	۰/۰۱۱	۰/۶۳۶	۰/۸۲۸	۱	۰/۰۴۷	۲/۰۷۷	-۰/۴۵۳	NDVI	
		۲/۷۸۶	۰/۸۸۲	۱	۰/۰۲۲	۶/۹۰۵	۱/۰۲۵	ثابت	

sig مربوط به شیب، فاصله از رودخانه، طبقات ارتفاعی و TWI می‌باشد. تفاوت در $-2\log$ likelihood (-2LL) به عنوان شاخص مؤثر بهبود مدل روی null model در نظر گرفته شده است (جدول ۲). کمترین مقدار -2LL بهترین گام برازش مدل را به داده‌ها ارائه و مقادیر کاهش تا گام تکرار شونده نهایی را تشریح می‌کند. Cox/Snell's and Nagelkerke's R-square برای اندازه‌گیری سودمندی مدل به کار گرفته شد. مدل بهتر، دارای Cox/Snell's Nagelkerke's R-square and بالاتری می‌باشد، یعنی هرچه بیشتر باشد، مدل بهتر می‌باشد [۱].

با توجه به جدول بالا، مقادیر وزن‌های منفی برای ضرایب رگرسیون لجستیک دلالت بر این دارد که رخداد سیل به طور منفی در ارتباط با متغیرهای مستقل می‌باشد [۲۶]. برای فاکتورهای شیب، انحنای زمین، طبقات ارتفاعی، کاربری اراضی، بارندگی و NDVI مقادیر وزن‌ها منفی و برای فاصله از رودخانه، TWI و سنگ شناسی مثبت و برای فاکتور SPI مقدار وزن مربوطه صفر می‌باشد. بیشترین وزن و تأثیر بر وقوع سیل مربوط به فاکتور TWI با مقدار ۳/۳ می‌باشد. اگرچه مقدار Sig < 0.05 باشد نشان‌دهنده این موضوع است که آن فاکتور مؤثر از لحاظ آماری دارای تأثیر بر روی سیلاب می‌باشد [۲۶]. پس مؤثرترین پارامترها با توجه به مقدار

جدول ۲. خلاصه مدل رگرسیون لجستیک برای حوزه آبخیز هراز

Method	Step	-2 Log likelihood	Cox & Snell R Square	Nagelkerke R Square
Enter	۱	۴۲/۶۰۴a	۰/۷۱۲	۰/۹۴۹

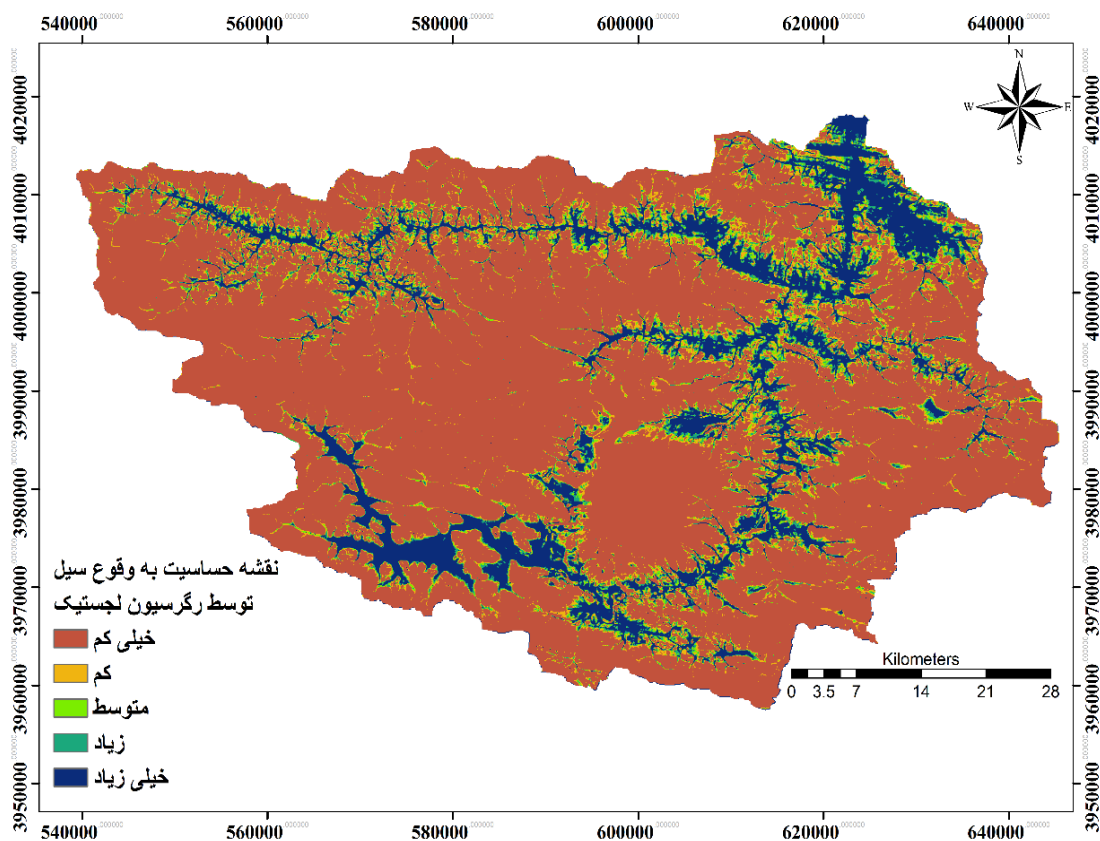
در نهایت فرمول ۸ در محیط ArcGIS10.1 برای تهیه نقشه حساسیت به وقوع سیل اجرا شد:

$$P(\text{flood susceptibility}) = \frac{e^z}{(1+e^z)} \quad (۸)$$

نقشه تهیه شده در شکل (۳) نشان داده شده است که به ۵ کلاس خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد توسط روش natural break تقسیم بندی گردید.

$$Z = -0.162 * \text{slope} - 0.638 * \text{curvature} + 0.002 * \text{Distance from river} - 0.004 * \text{altitude} - 0.362 * \text{landuse} - 0.003 * \text{rainfall} + 3.32 * \text{TWI} + 0.1 * \text{lithology} - 0.453 * \text{NDVI}$$

(۷)

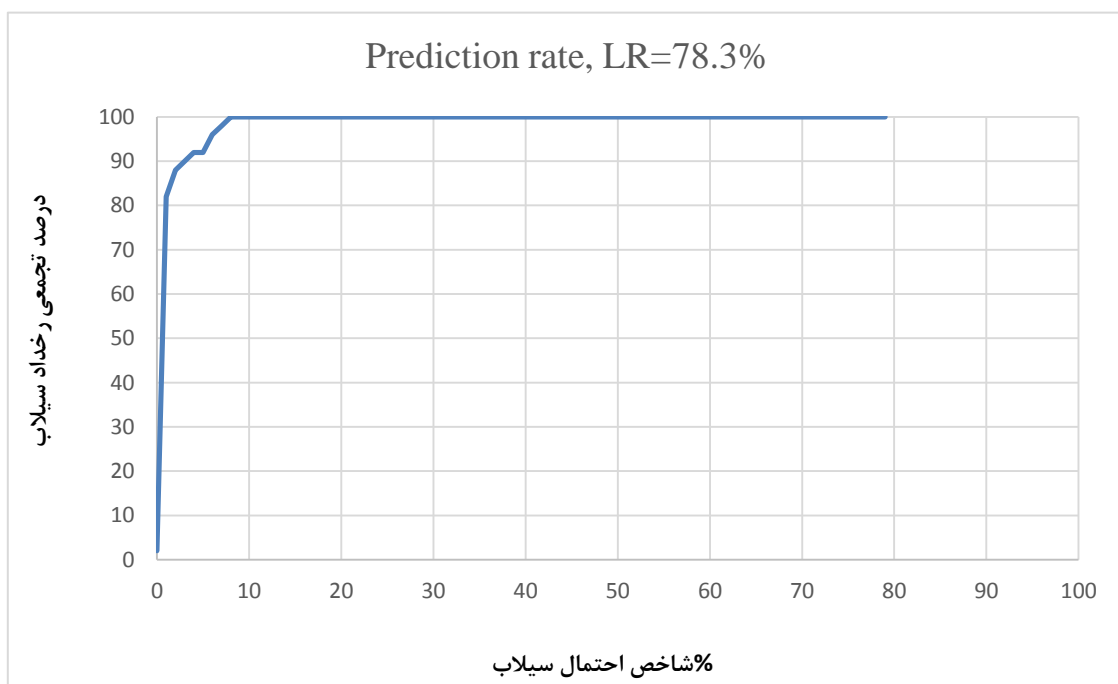


شکل ۳. نقشه حساسیت به وقوع سیل حوزه آبخیز هراز استان مازندران توسط رگرسیون لجستیک

پیش‌بینی می‌باشد [۱۳] برای prediction rate از داده‌های اعتبارسنجی یا تست (۳۰ درصد یا ۶۰ موقعیت) استفاده شد. نتایج نشان داد که برای میزان پیش‌بینی سطح زیرمنحنی برابر $78/3$ درصد می‌باشد (شکل ۴). پس این روش دارای نتیجه قابل قبول جهت تهیه نقشه حساسیت به وقوع سیل در حوضه آبخیز هراز در استان مازندران می‌باشد.

۲.۳. اعتبارسنجی نقشه حساسیت به وقوع سیل

اعتبارسنجی نقشه‌های تهیه شده، گامی اساسی در توسعه و تعیین مناطق حساس و تعیین کیفیت آنها می‌باشد [۲۱] و بدون آن مدل‌ها و نتایج آن‌ها فاقد اهمیت علمی خواهند بود [۴، ۲۰]. در این تحقیق از روش منحنی Receiver Operating Characteristics (ROC) و مساحت زیر منحنی (AUC) آن جهت ارزیابی استفاده شد. اگر که AUC برابر ۱ باشد نشان دهنده صحت کامل



شکل ۴. منحنی ROC جهت اعتبارسنجی نقشه نهایی سیل حوضه آبخیز هراز

باشد. در این مورد، روش‌های مختلفی توسط محققان برای کنترل و تخفیف سیل (mitigation) در دهه‌های اخیر به کار گرفته شده است. از اهداف اصلی این تحقیق می‌توان به تهیه نقشه حساسیت به وقوع سیل در حوضه آبخیز هراز در استان مازندران (به دلیل رخداد شدید و سالانه سیلاب) توسط روش رگرسیون لجستیک، ارزیابی کارایی روش نامبرده در تهیه نقشه حساسیت به وقوع سیل

۴. بحث و نتیجه‌گیری

سیل پر خسارت‌ترین عارضه مصیبت‌بار در جهان می‌باشد که تهدیدی جدی برای زندگی می‌باشد. پس تهیه نقشه‌های حساسیت به وقوع سیل در مشخص کردن مناطق حساس به وقوع سیل ضروری و یکی از گام‌های اولیه در کاهش خسارت می‌باشد و به علاوه آنالیز حساسیت به وقوع سیل یکی از محبوب‌ترین موضوعات مورد تحقیق می‌-

بیشترین تأثیر بر روی رخداد سیل بودند. نتایج این تحقیق با نتایج تهرانی و همکاران [۲۶، ۲۵] و یوسف و همکاران [۳۴] دارای انطباق کامل می‌باشد، از این نظر که مهمترین و مؤثرترین فاکتورها در وقوع سیل، شیب و انحنای زمین می‌باشند. با توجه به واقعیت امر در طبیعت نیز، سیل در مناطقی رخ می‌دهد که دارای شیب بسیار کم بوده و از نظر انحنای زمین نیز مسطح باشند.

برای فاکتور شاخص رطوبت توپوگرافی، در کل، با افزایش مقدار این شاخص احتمال رخداد وقوع سیل بیشتر می‌گردد. علت انتخاب ارتفاع از سطح دریا به عنوان یکی از پارامترهای مؤثر در وقوع سیل آن است که سیل در ارتفاعات پایین‌تر از سطح دریا اتفاق می‌افتد و در ارتفاعات بالا احتمال رخداد سیل بسیار کم می‌باشد. با بررسی فاکتور بارندگی می‌توان به این نتیجه رسید که با افزایش ارتفاع، احتمال بارندگی بیشتر می‌گردد (که توسط روی هم انداختن لایه بارندگی با توپوگرافی نیز این نتیجه حاصل می‌شود) و از طرف دیگر احتمال وقوع سیل در ارتفاعات بالا غیر ممکن است، پس در حوضه آبخیز هراز در عمل با افزایش بارندگی احتمال وقوع کاهش می‌یابد. فاکتور مؤثر دیگر، فاصله از رودخانه می‌باشد که با افزایش فاصله از رودخانه احتمال وقوع سیل کاهش می‌یابد. کاربری اراضی از دیگر فاکتورهای مؤثر در وقوع سیل می‌باشد، زیرا که نوع کاربری اراضی بر روی نفوذ رواناب و یا تشدید سرعت آن مؤثر می‌باشد. در فاکتور زمین‌شناسی به دلیل اینکه هر سازند و هر سنگی دارای نفوذپذیری متفاوت می‌باشد، در نتیجه سازندهای با نفوذپذیری کم، دارای تأثیر مستقیم بر روی تشکیل و تشدید رواناب و در نتیجه وقوع سیل هستند. شاخص NDVI به دلیل اینکه در ارتباط با پوشش گیاهی است، به عنوان یکی از فاکتورهای مؤثر در وقوع سیل شناسایی شده است.

نتایج و اطلاعاتی که از این تحقیق می‌توان گرفت برای بسیاری از ارگان‌های دولتی شامل شرکت‌های

و تعیین مهمترین فاکتورهای مؤثر در وقوع سیل در حوضه آبخیز هراز اشاره نمود.

با استفاده از نقشه‌های احتمال وقوع سیل به راحتی مناطقی را که دارای احتمال خطر بالا هستند شناسایی کرده تا از وقوع خسارات جلوگیری نمود. برای این کار از ۲۱۱ نقطه سیلابی ثبت شده، ۱۵۱ نقطه برای مدل‌سازی و ۶۰ نقطه برای اعتبارسنجی مدل کنار گذاشته شد. برای تهیه این نقشه‌ها، اولین گام آماده‌سازی فاکتورهای مؤثر در وقوع سیل می‌باشد. در زمینه تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی، یکی از محبوب‌ترین روش‌های آماری، رگرسیون لجستیک می‌باشد. یافته‌های این پژوهش حاکی از آن است که دقت مدل رگرسیون لجستیک (LR) در شناسایی مناطق دارای استعداد سیل‌گرفتگی حوضه آبخیز هراز در استان مازندران ۷۸/۳ درصد است. حوضه آبخیز هراز به دلیل کوهستانی بودن و همچنین شیب زیاد، رواناب به سرعت تشکیل شده و در ارتفاعات پایین‌تر به داخل رودخانه هراز ریخته و در جاهایی که توپوگرافی اجازه دهد سطح وسیعی را به صورت سیل در بر می‌گیرد. بیشتر مناطق مسکونی و کشاورزی داخل این حوضه، در مناطقی احداث شده است که دارای شیب کم و از نظر انحناء، مسطح هستند و به همین خاطر در صورت وقوع سیل موجب خسارات زیادی می‌شود. مهمترین عوامل مؤثر در وقوع سیل طبق روش رگرسیون لجستیک، شاخص رطوبت توپوگرافی، انحنای زمین و شیب می‌باشد. زاویه شیب به پنج طبقه تقسیم‌بندی گردید که نشان داد طبقه اول شیب (۵/۷-۰) بسیار مستعد برای رخداد سیل می‌باشد و هرچه سمت شیب‌های بیشتر می‌رویم مقدار احتمال وقوع سیل کمتر می‌گردد که منطبق با یافته‌های تهرانی و همکاران می‌باشد [۲۶].

بر اساس اینکه انحنای زمین فقط دارای سه حالت مسطح، مقعر و محدب می‌باشد، بنابراین فاکتور انحنای سطح زمین، به سه کلاس تقسیم شد که کلاس انحنای مقعر و سپس مسطح ۱ دارای

بود. همچنین نتایج نشان داد که سیل خیزی حوضه آبخیز هراز ناشی از برآیند عوامل مختلف محیطی و انسانی است که براساس نقشه پیش‌بینی خطر سیل ارائه شده می‌توان اقدامات مدیریتی مناسبی جهت کاهش خسارت‌ها و تلفات ناشی از سیل انجام داد.

سهامی آب منطقه‌ای استان‌ها، ادارات منابع طبیعی و آبخیزداری، برنامه‌ریزها جهت برنامه‌های هشدار سیل و جلوگیری از وقوع خسارات در سیل‌های آینده برای حوضه‌های شمال کشور که هر ساله چندین مرتبه شاهد وقوع سیل‌های خطرناک هستیم، مفید و ضروری خواهد

References

- [1] Althuwaynee, O.F., Pradhan, B., Park, H.J and Lee, J.H., (2014). A novel ensemble bivariate statistical evidential belief function with knowledge-based analytical hierarchy process and multivariate statistical logistic regression for landslide susceptibility mapping. *Catena*, 114, 21–36.
- [2] Bubeck, P., Botzen, W and Aerts, J., (2012). A review of risk perceptions and other factors that influence flood mitigation behavior. *Risk Analysis*, 32, 1481–1495.
- [3] Chau, K., Wu, C and Li, Y. (2005) Comparison of several flood forecasting models in Yangtze River. *Journal of Hydraulic Engineering*, 10(6):485–491.
- [4] Chung, C.J.F and Fabbri, A.G., (2003). Validation of spatial prediction models for landslide hazard mapping. *Natural Hazards*, 30, 451–472.
- [5] Cortes, C., Vapnik, V., (1995). Support-vector networks. *Machine Learning*, 20 (3), 273–297.
- [6] Dawson, C.W., Abrahart, R.J., Shamseldin, A.Y. and Wilby, R.L., (2006). Flood estimation at ungauged sites using artificial neural networks. *Journal of Hydrology*, 319, 391–409.
- [7] Du, J., Fang, J. Xu W., and Shi, P., (2013). Analysis of dry/wet conditions using the standardized precipitation index and its potential usefulness for drought/flood monitoring in Hunan Province China. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 27(2), 377–387.
- [8] Hosmer, D.W., and Lemeshow, S., (2000). *Applied Logistic Regression*, Second ed. John Wiley & Sons Inc., NewYork.
- [9] Jebur, M., Pradhan, B., and Tehrany, M., (2014). Manifestation of LiDAR- derived parameters in the spatial prediction of landslides using novel ensemble evidential belief functions and support vector machine models in GIS. *IEEE J Sel Topics Appl Earth Observ.* doi:10.1109/JSTARS.2014.2341276.
- [10] Kourgialas, N.N and Karatzas, G.P., (2011). Flood management and a GIS modelling method to assess flood-hazard areas—a case study. *Hydrological Sciences Journal*, 56, 212–225.
- [11] Lee, M.J., Kang, J.E., and Jeon, S., (2012). Application of frequency ratio model and validation for predictive flooded area susceptibility mapping using GIS. In: *Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)*, Munich. pp 895–898.
- [12] Lee, S., (2005). Application of logistic regression model and its validation for landslide susceptibility mapping using GIS and remote sensing data. *International Journal of Remote Sensing*, 26, 1477–1491.
- [13] Lee, S., and Pradhan, B., (2007). Landslide hazard mapping at Selangor, Malaysia using frequency ratio and logistic regression models. *Landslides*, 4, 33–41.
- [14] Levy, J.K., Hartmann, J., Li, K.W., An, Y., and Asgary, A., (2007). Multi-criteria decision support systems for flood hazard mitigation and emergency response in urban watersheds. *Journal of the American Water Resources Association*, 43, 346–358.
- [15] Li, X.H., Zhang, Q., Shao, M., and Li, Y.L., (2012). A comparison of parameter estimation for distributed hydrological modelling using automatic and manual methods. *Advanced Material Research*, 356–360: 2372–2375.
- [16] Liu, J., Li, J., Liu, J., and Cao, R.Y., (2008). Integrated GIS/AHP-based flood risk assessment: a case study of Huaihe River Basin in China. *Journal of Natural Disasters*, 17, 110–114.
- [17] Merz, B., Kreibich, H., Thielen, A., and Schmidtke, R., (2004). Estimation uncertainty of direct monetary flood damage to buildings. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 4(1), 153–163.
- [18] Messner, F., and Meyer, V., (2006). Flood damage, vulnerability and risk perception—challenges for flood damage research. In: *Flood Risk Management-Hazards, Vulnerability and Mitigation Measures*, (Eds.) Jochen Schanze, Evzen Zeman, Jiri Marsalek, Nato Science Series, Springer, Amsterdam, pp 149–167.
- [19] Mukerji, A., Chatterjee, C., and Raghuvanshi, N.S., (2009). Flood forecasting using ANN, neuro-fuzzy, and neuro-GA models. *Journal of Hydrologic Engineering*, 14(6), 647–652.

- [20] Nampak, H., Pradhan, B., and Manap, M.A., (2014). Application of GIS based data driven evidential belief function model to predict groundwater potential zonation. *Journal of Hydrology*, 513, 283-300.
- [21] Pourghasemi, H.R., Mohammady, M., and Pradhan, B., (2012). Landslide susceptibility mapping using index of entropy and conditional probability models in GIS: Safarood Basin, Iran. *Catena*, 97: 71–84.
- [22] Pourghasemi, H.R. and Beheshtirad, M., (2014). Assessment of a data-driven evidential belief function model and GIS for groundwater potential mapping in the Koohrang Watershed, Iran. *Geocarto International*, 30, 662-668.
- [23] Rahmati, O., Nazari Samani, A., Mahdavi, M., Pourghasemi, H.R., and Zeinivand, H., (2015). Groundwater potential mapping at Kurdistan region of Iran using analytic hierarchy process and GIS. *Arabian Journal of Geosciences*, 8(9), 7059-7071.
- [24] Shirzadi, A., Saro, L., Joo, O.H., and Chapi, K., (2012). A GIS-based logistic regression model in rock-fall susceptibility mapping along a mountainous road: Salavat Abad case study, Kurdistan, Iran. *Natural Hazards*, 64, 1639–1656.
- [25] Tehrany, M.S., Pradhan, B., and Jebur, M.N., (2013). Spatial prediction of flood susceptible areas using rule based decision tree (DT) and a novel ensemble bivariate and multivariate statistical models in GIS. *Journal of Hydrology*, 504, 69-79.
- [26] Tehrany, M.S., Pradhan, B., and Jebur, M.N., (2014a). Flood susceptibility mapping using a novel ensemble weights-of-evidence and support vector machine models in GIS. *Journal of Hydrology*, 512, 332-343.
- [27] Tehrany, M.S., Lee, M.J., Pradhan, B., Jebur, M.N., and Lee, S., (2014b). Flood susceptibility mapping using integrated bivariate and multivariate statistical models. *Environmental Earth Sciences*, 72(10), 4001-4015.
- [28] Tehrany, M.S., Pradhan, B., Mansour, Sh., and Ahmad, N., (2015a). Flood susceptibility assessment using GIS-based support vector machine model with different kernel types. *125:91-101*.
- [29] Tehrany, M.S., Pradhan, B., Mansour, Sh., and Noordin, A., (2015b). Flood susceptibility assessment using GIS-based support vector machine model with different kernel types. *Catena*, 125, 91-101.
- [30] Tierney, KJ., Lindell, MK., and Perry, R.W., (2001). Facing the unexpected disaster preparedness and response in the United States. Joseph Henry Press, Washington.
- [31] Umar, Z., Pradhan, B., Ahmad, A., Jebur, M.N. and Tehrany, M.S., (2014). Earthquake induced landslide susceptibility mapping using an integrated ensemble frequency ratio and logistic regression models in West Sumatera Province, Indonesia. *Catena*, 118, 124–135.
- [32] Yalcin, A., Reis, S., Aydinoglu, A.C., and Yomralioglu, T., (2011). A GIS-based comparative study of frequency ratio, analytical hierarchy process, bivariate statistics and logistics regression methods for landslide susceptibility mapping in Trabzon, NE Turkey. *Catena*, 85(3), 274–287.
- [33] Youssef, A.M., Pradhan, B., and Hassan, A.M. (2011). Flash flood risk estimation along the St. Katherine road, southern Sinai, Egypt using GIS based morphometry and satellite imagery. *Environmental Earth Sciences*, 62, 611–623.
- [34] Youssef, A.M., Pradhan, B., and Sefry, S.A., (2016). Flash flood susceptibility assessment in Jeddah city (Kingdom of Saudi Arabia) using bivariate and multivariate statistical models. *Environmental Earth Sciences*, doi: 10.1007/s12665-015-4830-8.
- [35] Yu, J., Qin, X., and Larsen, O., (2013) Joint Monte Carlo and possibilistic simulation for flood damage assessment. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 27(3), 725–735.